

## Method of measuring the effective instantaneous position of a slide-mounted probe element or tool

Patent Number: ☒ US5333386

Publication date: 1994-08-02

Inventor(s): BREYER KARL-HERMANN (DE); AUBELE EUGEN (DE); GRUPP GUENTER (DE); EBERSBACH PETER (DE); WIEDMANN WOLFGANG (DE)

Applicant(s): ZEISS STIFTUNG (DE)

Requested Patent: ☒ DE4134371

Application Number: US19920957398 19921006

Priority Number(s): DE19914134371 19911017

IPC Classification: G01B7/03

EC Classification: G01B11/00D1

Equivalents: ☐ EP0537641, B1, JP3337245B2, ☐ JP5240635

### Abstract

A computer-operated coordinate-measurement machine has two length-measurement systems arranged in parallel for measuring the longitudinal displacement of a probe carried by the portal (3-5) of the machine, and these two length-measurement systems (13, 14) may belong to different precision classes. A computer-associated device (16) forms an absolute position-measurement value ( $Y_m$ ) from length-measurement signals of the more precise measurement system (13) and said device forms a dynamic measurement or instantaneous deviation value ( $Y_s - Y_m$ ) from the difference between length-measurement signals of the respective systems (13, 14). The computer of the machine calculates the effective instantaneous position ( $Y_m + \Delta y$ ) of the probe (9a, b, c) borne by the portal (3-5), using the instantaneous value of the transverse position of the probe on the portal, in conjunction with the absolute measurement value ( $Y_m$ ) and the dynamic measurement value ( $Y_s - Y_m$ ).

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 41 34 371 A 1

⑥① Int. Cl. 5:  
G 01 B 11/02  
G 01 B 21/04  
G 01 D 3/04

②① Aktenzeichen: P 41 34 371.9.  
②② Anmeldetag: 17. 10. 91  
④③ Offenlegungstag: 22. 4. 93

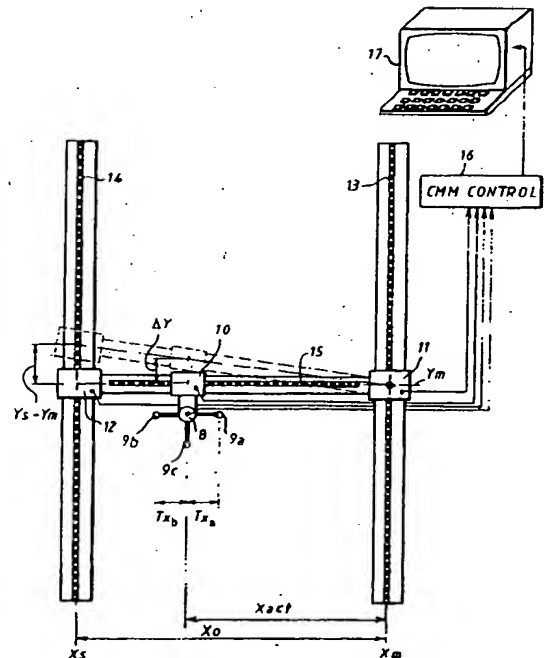
DE 41 34 371 A 1

⑦① Anmelder:  
Fa. Carl Zeiss, 7920 Heidenheim, DE

⑦② Erfinder:  
Breyer, Karl-Hermann, Dr., 7920 Heidenheim, DE

⑤④ Verfahren zur Messung der effektiven Momentanposition eines von einem Schlitten getragenen Tastelementes bzw. Werkzeugs

⑤⑦ Die Koordinatenmeßmaschine besitzt zwei parallel angeordnete Längenmeßsysteme zur Messung der Verschiebung seines Portals (3-5), wobei die beiden Längenmeßsysteme (13, 14) unterschiedlichen Genauigkeitsklassen angehören. Weiterhin ist eine Einrichtung (16) vorgesehen, die aus den Signalen des genaueren Längenmeßsystems (13) einen absoluten Positionsmeßwert ( $Y_m$ ) und aus den Signalen des weniger genauen Meßsystems (14) einen dynamischen, die momentane Abweichung von der Position des anderen Meßsystems (14) charakterisierenden Meßwert ( $Y_s - Y_m$ ) bildet. Der Rechner des Koordinatenmeßgerätes berechnet aus den beiden Meßwerten, dem absoluten Meßwert ( $Y_m$ ) und dem dynamischen Meßwert ( $Y_s - Y_m$ ) die effektive Momentanposition ( $Y_m + \Delta Y$ ) des vom Portal (3-5) getragenen Tastelementes (9a, b, c) zum Antastzeitpunkt.



DE 41 34 371 A 1

Insbesondere bei Koordinatenmeßmaschinen vom Portaltyp, deren Portal in der Regel einseitig von einem Antrieb angetrieben wird, der an einem der beiden Portalfüße angreift, tritt häufig das Problem auf, daß sich das Portal im Zuge von Beschleunigungs- bzw. Abbremsbewegungen aufgrund der dynamisch auf es einwirkenden Kräfte querstellt bzw. Drehschwingungen um die Vertikale ausführt. Obwohl die Amplitude dieser Bewegungen relativ klein ist, hat dies Fehlmessungen zur Folge, da die Position des vom Portal getragenen Tastelementes dann nicht genau bestimmt ist. Denn die Position des Portals wird in der Regel durch Meßwertgeber im angetriebenen Fuße des Portals bestimmt, die einen entlang der Führung angeordneten Maßstab abtasten.

Zur Lösung des beschriebenen Problems ist in der DE-AS 22 48 194 bereits vorgeschlagen worden, zwei parallele Maßstäbe beidseitig des Portals anzuordnen. Mit Hilfe der beiden beabstandet gewonnenen Meßwerte läßt sich das Ausmaß der Drehbewegung des Portals erfassen und die exakte Position des Tastelementes unter Berücksichtigung der Position des auf dem Portal senkrecht zu ihm verfahrbaren Querschlittens berechnen.

Diese bekannte Lösung hat mehrere Nachteile. Da die Position der beiden Portalfüße gleichzeitig absolut bestimmt wird, werden auf beiden Seiten des Portals zwei gleichwertige, hochgenaue Meßsysteme benötigt, die außerdem beide an einen stabilen Bezugspunkt angebunden sein müssen. Insoweit inkrementale Längenmeßsysteme verwendet sind, ist es außerdem erforderlich, bezogen auf den vorgenannten Bezugspunkt an beiden Maßstäben Referenzmarken vorzusehen, damit die Meßsysteme immer wieder neu initialisiert werden können.

Da nun außerdem innerhalb der Maschine Temperaturgradienten auftreten können, sind die Temperatureinflüsse auf die beiden Maßstäbe nicht gleich. Somit sind verglichen mit der Messung durch einen einzigen Maßstab die doppelte Anzahl von Temperatursensoren an den Maßstäben erforderlich und die rechnerische Korrektur der Temperatureinflüsse ist sehr aufwendig.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, den Einfluß der vorstehend beschriebenen Drehbewegungen auf die Position des Tastelementes zu eliminieren jedoch mit möglichst geringem apparativem bzw. meßtechnischem Aufwand.

Es ist klar, daß die vorstehend beschriebene Problematik nicht nur bei Koordinatenmeßmaschinen sondern auch bei Bearbeitungsmaschinen auftreten kann, wobei es dort um die Position des von der Maschine positionierten Werkzeugs geht, und insofern die Erfindung auch für andere Anwendungsfälle nutzbar ist.

Gelöst wird die vorstehend genannte Aufgabe mit dem im Anspruch 1 angegebenen Verfahren bzw. durch einen Aufbau der Maschine gemäß den im Anspruch 4 angegebenen Merkmalen.

Da gemäß der Erfindung das zweite Längenmeßsystem nur zur dynamischen Korrektur verwendet wird, die Genauigkeit der Messung der Absolutposition mit diesem Meßsystem für das Verfahren also keine Rolle spielt, kann an dieser Stelle ein einfaches Meßsystem einer geringeren Genauigkeitsklasse eingesetzt werden und es ist nur ein hochwertiges Meßsystem auf der anderen Seite des Schlittens erforderlich. Beispielsweise kann als Längenmeßsystem der höheren Genauigkeits-

klasse auf der einen Seite des Schlittens ein temperaturinvarianter Zerodurmaßstab oder ein Laserinterferometer mit hochgenau stabilisierter Wellenlänge und einer Einrichtung zur Kompensation der Umweltparameter wie Luftdruck und Temperatur auf die Wellenlänge im Bereich der Meßstrecke eingesetzt werden.

Das andere Längenmeßsystem kann beispielsweise ein einfacher Glasmaßstab oder ein Diodenlaser-Interferometer mit einfacher Wellenlängenstabilisierung und ohne Umweltkompensation sein. Das ist möglich, weil für die Referenzpunkte der Längenmeßsysteme keine Langzeitstabilität im Mikrometerbereich notwendig ist und auch das Anbinden beider Längenmeßsysteme an einen gemeinsamen Referenzpunkt nicht erforderlich ist.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Fig. 1—3 der beigefügten Zeichnungen.

Fig. 1 ist eine perspektivische Prinzipskizze eines Koordinatenmeßgerätes vom Portaltyp mit Längenmeßsystemen gemäß der Erfindung;

Fig. 2 ist eine schematisierte Aufsicht auf die Maßstäbe des Koordinatenmeßgerätes aus Fig. 1 zur Verdeutlichung der geometrischen Zusammenhänge;

Fig. 3a und 3b sind typische Funktionsverläufe für den Differenzmeßwert ( $Y_s - Y_m$ ) gemessen mit den beiden Maßstäben (13) und (14) aus Fig. 2.

Das in Fig. 1 dargestellte Koordinatenmeßgerät besitzt einen Meßtisch (1) aus z. B. Granit, auf den an einer Seite eine Führung (2) für das längs des mit (Y) bezeichneten Pfeils verschiebbare Portal angebaut ist. Das Portal besteht aus den beiden Portalfüßen (4) und (5) und dem darübergelegten Querträger (3), auf dem senkrecht zur Führungsrichtung (Y) für das Portal ein Querschlitten (6) in Richtung des mit (X) bezeichneten Pfeils verschieblich gelagert ist. Der Querschlitten (6) enthält die Führungen für die vertikal in Z-Richtung verschiebbare Pinole (7), an dessen unterem Ende der eigentliche Meßkopf (8) des Koordinatenmeßgerätes mit seinen Tastelementen (9) befestigt ist.

Das Portal des Koordinatenmeßgerätes wird einseitig an seinem Fuße (4) angetrieben. Am Fuß (4) ist auch der photoelektrische Lesekopf (11) angeordnet, der einen ersten, hochgenauen, temperaturinvarianten Zerodurmaßstab (13) abtastet, der parallel zur Führung (2) angeordnet ist.

Der Maßstab (13) und der Lesekopf (11) sind üblicherweise im Inneren der Führungsgehäuses (2) angeordnet und durch geeignete Faltenbälge etc. gegen Verschmutzung bzw. Einstauben geschützt.

An dem zweiten Portalfuß (5) ist ein weiterer photoelektrischer Lesekopf (12) befestigt, der einen zweiten, ebenfalls längs der Verschieberichtung (Y) angeordneten inkrementalen Maßstab (14) abtastet. Bei dem Maßstab (14) handelt es sich um einen einfachen Glasmaßstab ohne irgendwelchen Temperatursensoren. Entsprechend kann sich der Maßstab dann, wenn an dieser Stelle die Temperatur wechselt, bzw. Temperaturgradienten auftreten, dehnen und stauchen. Verglichen mit dem temperaturinvarianten Maßstab (13) hat er deshalb durchaus einen davon abweichenden Maßstabsfaktor, der außerdem über die Länge des Maßstabs nicht konstant zu sein braucht.

Der Maßstab, mit dem die Verlagerung des Querschlittens (6) entlang des Querträgers (3) des Portals gemessen wird, ist in der Figur mit (15) bezeichnet.

Wie aus der vereinfachten Skizze nach Fig. 2 hervor-

geht, sind die photoelektrischen Gebersysteme (11) und (12), von denen die Maßstäbe (13) und (14) abgetastet werden, sowie das Gebersystem (10), das den Y-Maßstab (15) abtastet, und auch der hier nicht dargestellte Abtastkopf für den Z-Maßstab an die Maschinensteuerung (16) des Koordinatenmeßgerätes angeschlossen. Die Maschinensteuerung (16) empfängt ihre Steuerbefehle vom Rechner (17) des Koordinatenmeßgerätes, und meldet die von der Steuerung aus den Signalen der Leseköpfe abgeleiteten Positionsmeßwerte an den Rechner (17) weiter. An die Steuerung ist weiterhin auch der Meßkopf (8) des Koordinatenmeßgerätes angeschlossen, der den Kontakt der Tastelemente (9a-c) mit dem zu vermessenden Werkstück mit Hilfe geeigneter Sensoren meldet.

Üblicherweise wird der Antrieb des Portals, wenn dieses sich mit dem Meßkopf (8) auf das zu vermessende Werkstück hin bewegt, kurz vor dem Erreichen der Antastposition vom Eilgang auf eine definierte konstante, in der Regel niedrigere Antastgeschwindigkeit heruntergebremsst. Während dieses Vorgangs kann das Portal in Schwingungen geraten, wie das in übertriebener Weise gestrichelt dargestellt ist. Die Amplitude dieser Schwingungen ist naturgemäß zwar sehr klein, sie liegt im Bereich weniger um, sie bestimmt jedoch die Meßgenauigkeit des Gerätes, denn um diese Amplitude ist die Position des Tastelementes beim Antastvorgang unbestimmt.

Zur Eliminierung dieser Meßunsicherheit wird folgendermaßen vorgegangen:

Mit dem rechten hochgenauen Maßstab (13) aus Zerodur wird die Position des Portals dauernd und absolut gemessen. Die entsprechenden Meßwerte werden im Maschinentakt aufgenommen und in einem Zwischenspeicher in der Maschinensteuerung abgelegt.

Gleichzeitig wird auch der linke, weniger genaue Maßstab (14) gelesen, allerdings erst eine relativ kurze Zeitspanne beginnend zu einem Zeitpunkt ( $t_0$ ) ca. 1 Sekunde vor dem Antastzeitpunkt, bei dem eines der Tastelemente (9a-c) das zu vermessende Werkstück berührt und den sogenannten Antastimpuls erzeugt. Jedoch wird der Startwert der Positionsmessung mit dem Maßstab (14) durch den mit dem rechten Maßstab (13) ermittelten Positionswert ersetzt und nachfolgend, d. h. während der Zeitspanne vor dem Antastvorgang, werden lediglich die Differenzen ( $Y_s - Y_m$ ) der beiden Meßwerte ( $Y_m$ ) des rechten Maßstabs (13) und des Meßwertes ( $Y_s$ ) des linken Maßstabs (14), ebenfalls im Maschinentakt gelesen und abgespeichert. Über die Zeit gesehen, von dem Zeitpunkt ( $t_0$ ) ab, an dem erstmalig die Differenzmeßwerte gelesen bzw. gebildet wurden, bis zu dem Antastzeitpunkt ( $t_a$ ) ergeben diese Meßwertdifferenzen ( $Y_s - Y_m$ ) der beiden Maßstäbe einen Funktionsverlauf wie er in Fig. 3a vereinfacht dargestellt ist. Der Drehschwingung des Portals um die Vertikale ist hier in erster Näherung eine Gerade überlagert, bedingt durch die leicht unterschiedlichen Maßstabsfaktoren der beiden Maßstäbe (13) und (14), mangelnde Parallelität der beiden Maßstäbe (13) und (14), usw. Die Steigung dieser Geraden ist stark überhöht dargestellt.

Diese Steigung kann man durch eine geeignete Rechenvorschrift eliminieren, indem beispielsweise der gespeicherte Funktionsverlauf der Differenzmeßwerte ( $Y_s - Y_m$ ) durch eine Gerade approximiert wird und diese Gerade von den Meßwerten abgezogen wird. Die so korrigierten Meßwerte  $\Delta Y(t)$  besitzen dann den in Fig. 3b dargestellten Funktionsverlauf, wobei der mit  $\Delta Y(t_a)$  bezeichnete Pfeil die dynamische Abweichung

darstellt, um die der linke Portalfuß sich im Antastzeitpunkt gegenüber dem rechten Portalfuß verlagert hat.

Dieser Wert ist jedoch nicht mit dem Korrekturwert  $\Delta Y$  identisch, um den sich der Tastkopf bzw. das betreffende Tastelement aufgrund der Drehschwingung des Portals von der mit dem Maßstab (13) zu messenden Position verlagert hat. Das Ausmaß dieser Verlagerung  $\Delta Y$  hängt vielmehr von der X-Position des Querschlittens (6) senkrecht zur Fahrriichtung des Portals ab. Beispielsweise bestimmt sich die Verlagerung des Tastelementes (9a) in Y-Richtung nach der Formel

$$\Delta Y_{9a} = \frac{X_{act} + TX_a \cdot \Delta Y(t_a)}{XO} \quad (1)$$

Hierbei ist ( $XO$ ) der Abstand der beiden Maßstäbe (13) und (14), deren Positionen jeweils mit ( $X_m$ ) und ( $X_s$ ) bezeichnet sind, ( $X_{act}$ ) die momentan gemessene X-Position des Meßkopfes (8) und ( $TX_a$ ) die Tasterkoordinate für das Tastelement (9a) bezogen auf die X-Position des Meßkopfes.

Diese Beziehung läßt sich sehr leicht anhand der geometrischen Beziehungen (Strahlensatz) ableiten.

Der exakte Meßwert der Y-Position für das Tastelement (9a) zum Antastzeitpunkt wird vom Rechner (17) entsprechend der angegebenen Formel aus den beiden Meßwerten, nämlich dem absoluten Positionsmeßwert ( $Y_m$ ) gemessen mit dem Maßstab (13) und dem dynamischen Differenzmeßwert ( $Y$ ), sowie der gemessenen X-Position ( $X_{act}$ ) berechnet.

Wie bereits einleitend ausgeführt ist bei dieser Methode es nicht erforderlich, daß der linke Maßstab (14) über einen gemeinsamen Referenzpunkt an den rechten Maßstab (13) angebunden ist und auch auf seinen Maßstabsfaktor und seine Temperaturabhängigkeit kommt es nicht an, da beide im Zuge des beschriebenen Auswertungsverfahrens nicht in die Genauigkeit eingehen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der effektiven Momentanposition eines von einem Schlitten (Portal 3-5) getragenen Tastelementes (9a, b, c) bzw. Werkzeugs, wobei der Schlitten mit zwei Längenmeßsystemen unterschiedlicher Genauigkeitsklasse versehen ist und mit dem genaueren Längenmeßsystem die Absolutposition des Schlittens und mit dem weniger genauen Längenmeßsystem (14) die dynamische Abweichung von der mit dem anderen Meßsystem (13) ermittelten Position bestimmt wird und beide Positionsmeßwerte zur Korrektur von Drehschwingungen des Schlittens miteinander verknüpft werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei beide Meßsysteme (13, 14) im gleichen Takt ausgelesen werden, die Differenz ( $Y_s - Y_m$ ) der beiden Meßwerte jeweils über einen festgelegten Zeitbereich ( $T$ ) hindurch gespeichert werden und der lineare Anteil des sich ergebenden Funktionsverlaufes von den Meßwerten subtrahiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das weniger genaue Meßsystem (14) jeweils nur innerhalb einer festgelegten Zeitspanne ( $T$ ) gelesen, bzw. seine Zeitsignale weiterverarbeitet werden, beginnend zu einem Zeitpunkt ( $t_0$ ) vor dem Zeitpunkt ( $t_a$ ), an dem der exakte Positionsmeßwert  $Y_m + \Delta Y(t_a)$  ermittelt werden muß.

4. Maschine mit zwei parallel angeordneten Län-

genmeßsystemen (13, 14) zur Messung der Verschiebung eines seiner Schlitten (Portal 3—5), wobei die beiden Längenmeßsysteme (13, 14) unterschiedlichen Genauigkeitsklassen angehören und an eine Einrichtung (16) angeschlossen sind, die aus den Signalen des genaueren Längenmeßsystems (13) einen absoluten Positionsmeßwert ( $Y_m$ ) und die aus den Signalen des weniger genauen Meßsystems (14) einen dynamischen, die momentane Abweichung von der Position des anderen Meßsystems (14) charakterisierenden Meßwert ( $Y_s - Y_m$ ) bildet, und mit einem Rechner, der aus den beiden Meßwerten die effektive Momentanposition ( $\Delta Y_{9a}$ ) eines von dem Schlitten (Portal 3—5) getragenen Tastelementes (9a, b, c) bzw. Werkzeugs berechnet.

5. Maschine nach Anspruch 4, wobei sie eine Koordinatenmeßmaschine, insbesondere vom Portaltyp ist.

6. Maschine nach Anspruch 4, wobei die Längenmeßsysteme Maßstäbe (13, 14) enthalten.

7. Maschine nach Anspruch 6, wobei einer der beiden Maßstäbe ein temperaturinvarianter Zerodurmaßstab (13) ist und der andere Maßstab (14) aus Material mit nicht zu vernachlässigender thermischer Ausdehnung besteht.

8. Maschine nach Anspruch 5, wobei eines der beiden Meßsysteme einen Maßstab enthält und das andere ein interferometrisches Längenmeßsystem ist.

9. Maschine nach Anspruch 5, wobei beide Meßsysteme Interferometer sind und allein eines der beiden Interferometer eine Einrichtung zur Kompensation von Umweltparametern bzw. zur hochgenauen Stabilisierung der Wellenlänge des verwendeten Meßlichts besitzt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

FIG. 1

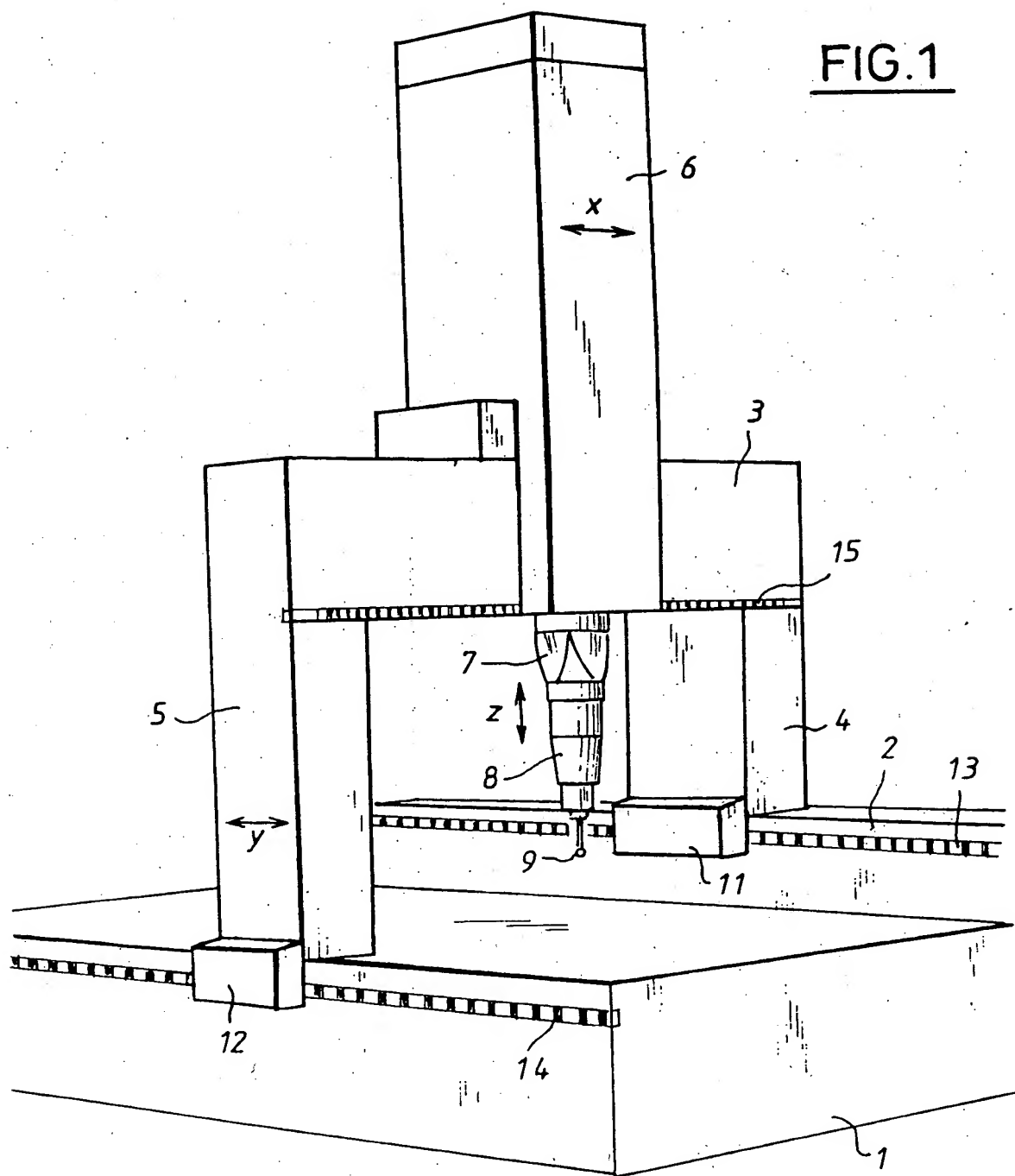




FIG. 2

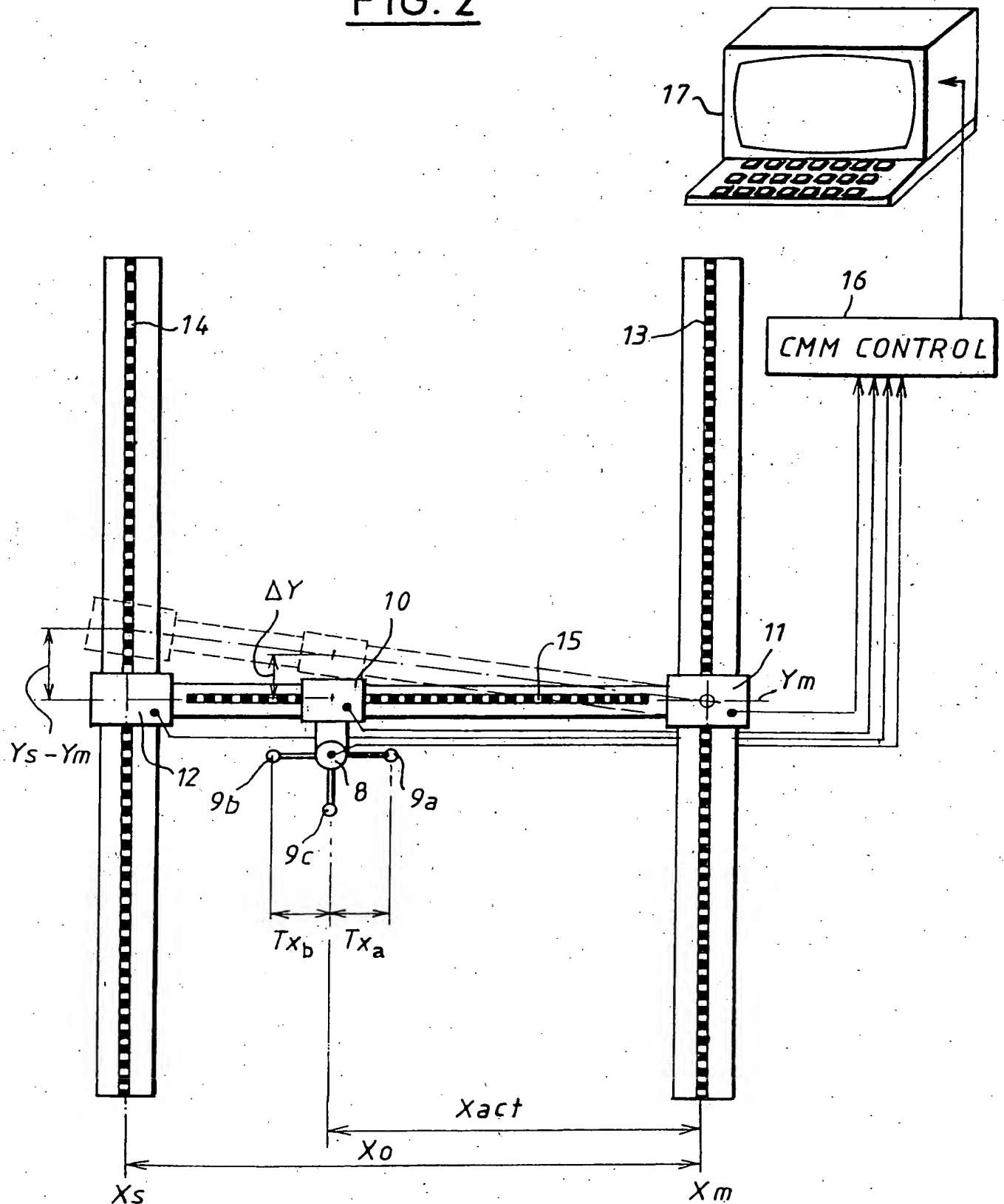


FIG. 3a

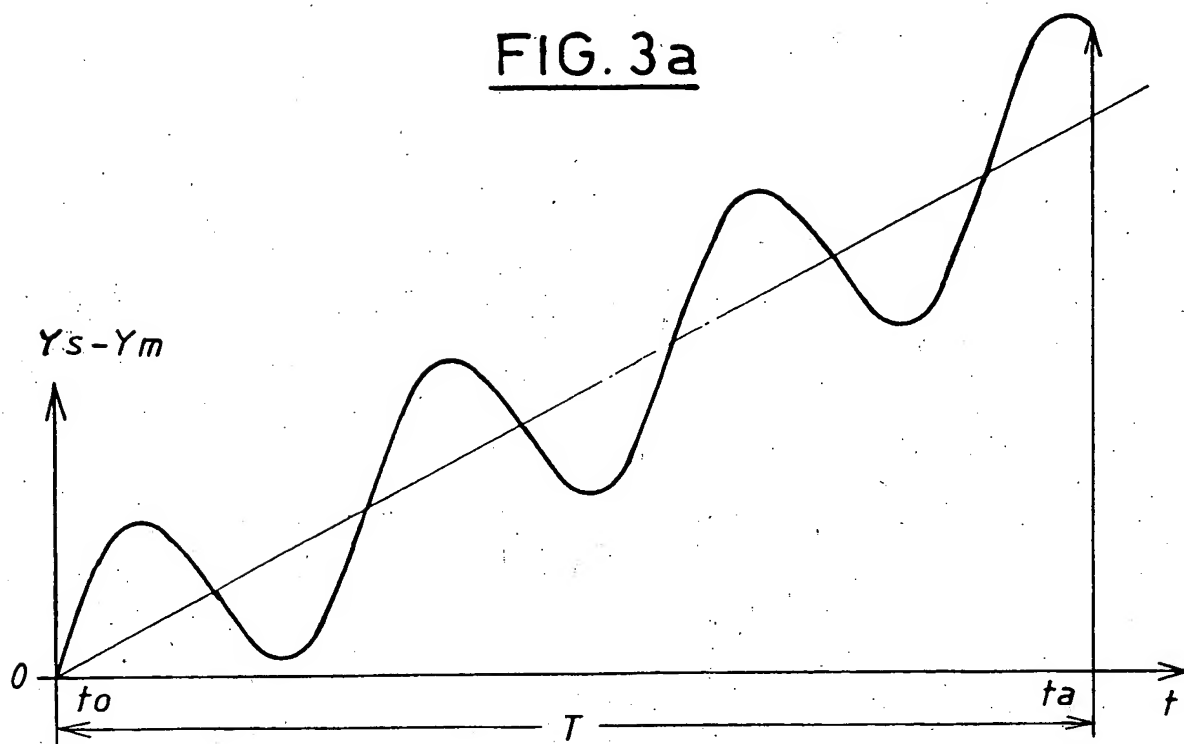


FIG. 3b

